VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

7. FORFECAREA

7.1 Forfecarea în piesele cu secțiunea îngustă

Acțiunea simultană a două forțe egale şi de sens contrar, perpendiculare pe axa barei, asemenea lamelor unei foarfece (fig.7.1,a), solicită bara la **forfecare** sau **tăiere**.

Asemenea solicitări au loc în nituri, capse, ştifturi, suduri de colț, precum si în cazurile de tăiere, ştanțare etc.

Starea de tensiune generată de acțiunea forțelor ca în figura (7.1,a) este destul de complicată, întrucât **solicitarea de forfecare este însoțită de întindere, compresiune şi încovoiere.** Calculul exact, în acest caz, este destul de laborios şi nu este analizat în cursul de Rezistența materialelor. De aceea, în practica inginerească, pentru piesele de cu secțiune îngustă (h mic), când distanța e, dintre liniile de acțiune a celor două forțe, ce produc forfecarea, este mică, celălalte solicitări se neglijează. În

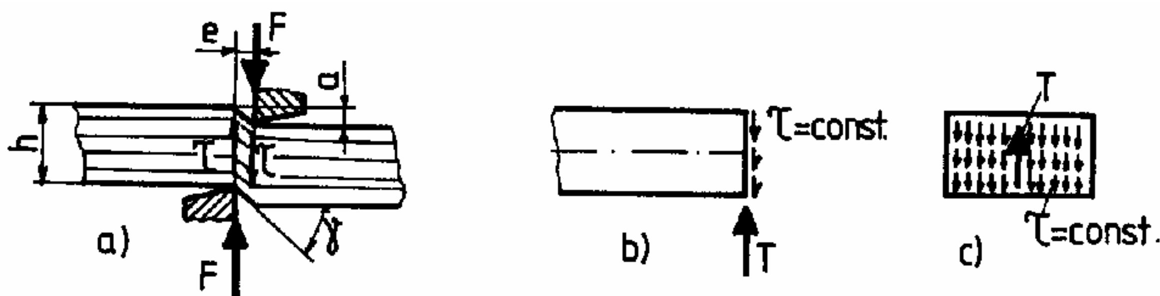


Fig. 7.1

acest caz asupra secțiunii se consideră că acționează numai efectul forței tăietoare $T = F$, conținută în planul secțiunii.

Sub acțiunea forței tăietoare se produc tensiuni tangențiale τ şi deformații unghiulare γ (lunecări). **În cazul pieselor de secțiune mică se admite ipoteza de repartiție uniformă a tensiunilor tangențiale pe secțiunea transversală.** În baza acestei ipoteze, din ecuația de echilibru pentru forța din stânga a barei (fig. 7.1,b şi c), se deduce:

$$\mathbf{T = \int_A \tau \cdot dA = \tau \cdot \int_A dA = \tau \cdot A},$$

din care rezultă relația:

$$\tau = \frac{T}{A}, \tag{7.1}$$

ce se utilizează, în condiția $\tau \le \tau_a$, în calculul de rezistență al secțiunilor înguste.

Când secțiunea nu mai poate fi considerată îngustă, tensiunea tangențială nu poate fi considerată constantă şi deci relația (7.1) nu poate fi utilizată. Cazul va fi studiat ulterior la încovoierea simplă (vezi § 9.5).

Rezistența admisibilă la forfecare pentru nituri, ştifturi, pene, buloane, etc. se ia:

$$\boldsymbol{\tau_a = (0{,}5....0{,}8)\cdot\sigma_a,} \tag{7.2,a}$$

iar pentru sudurile de colț:

$$\boldsymbol{\tau_{as} = 0{,}65\cdot\sigma_a.} \tag{7.2,b}$$

În anexa 1 se dau valorile pentru rezistențele admisibile la forfecare la materialele cele mai utilizate.

În cazul ştanțării se consideră:

$$\boldsymbol{\tau_r = 0{,}85\cdot\sigma_r.} \tag{7.2,c}$$

Aplicația 7.1. Să se calculeze forța necesară pentru ştanțarea unei găuri circulare, d = 45 mm, într-o piesă din tablă având grosimea t = 4 mm, din oțel cu σ_r = 450 MPa.

$$\tau_r = 0{,}85\cdot\sigma_{r\,max} = 0{,}85\cdot 450 = 382{,}5 \text{ MPa},$$

$$A = t\cdot d\cdot\pi = 4\cdot 45\cdot\pi = 565{,}5 \text{ mm}^2,$$

$$T = \tau_r\cdot A = 582{,}5\cdot 565{,}5 = 2163\cdot 10^2 \text{ N}.$$

Se adoptă: P=220 kN.

În cazul solicitării la forfecare deformațiile şi deplasările produse de solicitare nu prezintă interes practic. Dacă tensiunea maximă nu depăşeşte limita de proporționalitate şi deformațiile sunt mici ($\gamma \cong tg\gamma$), deplasarea a (fig. 7.1,b) rezultă:

$$\mathbf{a = e\cdot\gamma = e\cdot\frac{\tau}{G} = \frac{T\cdot e}{G\cdot A}}, \tag{7.3}$$

unde G este modulul de elasticitate transversal, iar produsul G·A este **rigiditatea la forfecare**.

7.2. Noțiuni generale despre îmbinări

Îmbinarea este asamblarea demontabilă sau nedemontabilă ce asigură legătura între două sau mai multe părți ale unei construcții inginereşti sau ale unei maşini. Exemple de îmbinări demontabile sunt cele executate cu: pene, şuruburi, caneluri, etc. şi nedemontabile executate prin: nituire, sudare, lipire, etc.

Elementele de rezistență ale îmbinărilor sunt solicitate la intindere, compresiune, forfecare, etc. constituind astfel, un larg câmp de aplicație a cunoştințelor dobândite în calculul de rezistență.

În calculul de rezistență al îmbinărilor se examinează fiecare element de rezistență, determinând: forțele exterioare ce acționează asupra ER, eforturile, solicitările, secțiunile de rupere pentru fiecare solicitare şi în final - **secțiunea periculoasă**.

O îmbinare se consideră judicios realizată când toate elementele sale prezintă acelaşi grad de siguranță la rupere. Ținând seama de acest principiu, **când se impune un ER al îmbinării, celelalte (ER) se dimensionează la capacitatea de rezistență a ER dat inițial.**

Întrucât îmbinările au fost şi sunt frecvent utilizate în tehnica inginerească şi deci există o experiență inginerească - privitoare la condițiile de rezistență, economice şi tehnologice de realizare - **majoritatea elementelor constructive ale îmbinărilor sunt normalizate prin standarde şi norme interne.** De aceste norme, ce consacră anumite forme constructive şi reguli de execuție, trebuie să se țină seama şi deci respectate. Necunoaşterea şi nerespectarea acestor norme poate duce, în cel mai bun caz, la irosire de timp la calcularea unor parametrii ce sunt deja stabiliți şi în cel mai rău caz la forme constructive ce s-au dovedit necorespunzătoare.

7.3. Îmbinări cu pene transversale

Îmbinările cu pene transversale sunt îmbinări demontabile ce se utilizează pentru a asambla două bare coaxiale. Pana transversală trece prin cele două bare (fig. 7.2).

Distrugerea îmbinării poate să se producă din următoarele cauze:

I - tensiunii normale din bara cu diametrul d:

$$\sigma' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \leq \sigma_a , \tag{7.4}$$

II - tensiunii normale din capătul barei, slăbită cu pană:

$$\sigma'' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2 - 4d_1 \cdot b} \leq \sigma_a , \tag{7.5}$$

III - tensiunii normale din manşonul slăbit:

$$\sigma''' = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot \left(D^2 - d_1^2\right) - 4 \cdot \left(D - d_1\right) \cdot b} \leq \sigma_a , \tag{7.6}$$

IV - tensiunii tangenţiale ce se dezvoltă în secţiunile AB şi CD din pană:

$$\tau' = \frac{P}{2 \cdot b \cdot h} \leq \tau_a , \tag{7.7}$$

V - tensiunii tangenţiale din secţiunile EF şi GH din capătul barei:

$$\tau'' = \frac{P}{2 \cdot d_1 \cdot h_1} \leq \tau_a \tag{7.8}$$

VI - tensiunii tangențiale din secțiunile IJ şi KL din manşon:

$$\tau''' = \frac{P}{2 \cdot h_2 \cdot (D - d_1)} \leq \tau_a, \qquad (7.9)$$

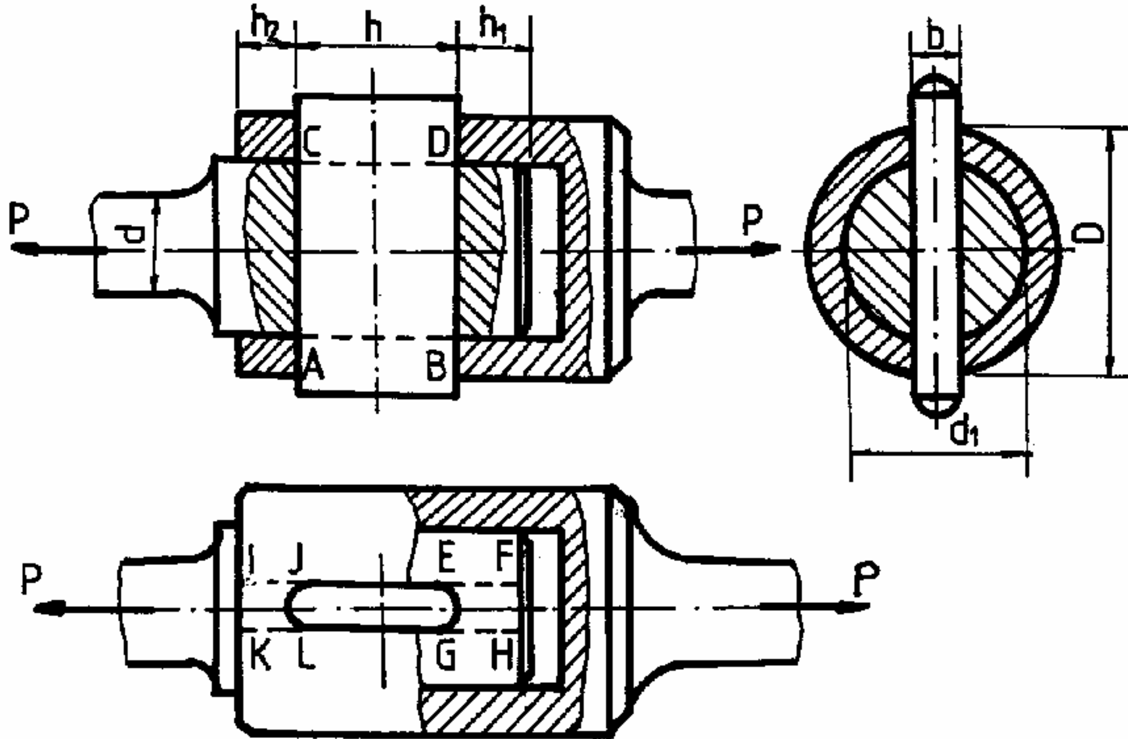


Fig. 7.2

VII - presiunii de contact (strivirii) între pană şi capătul barei din stânga:

$$p' = \frac{P}{b \cdot d_1} \leq p_a, \qquad (7.10)$$

VIII - presiunii de contact dintre pană şi manşon:

$$p'' = \frac{P}{b \cdot (D - d_1)} \leq p_a. \qquad (7.11)$$

Pe lângă aceste cauze mai trebuie reținut că penele transversale sunt solicitate la încovoiere şi mai pot fi solicitate şi la răsucire. De aceea se recomandă execuția penelor din oțeluri cu rezistența ridicată: OL 50, OL 60, OL70 sau OLC 45, etc.

Dacă îmbinarea este realizată astfel încât fiecare din valorile tensiunilor enumerate mai sus să fie egale cu tensiunea admisibilă, îmbinarea a devenit de egală rezistență pentru toate tipurile de solicitare. Ținând seama de această condiție, în

cursul de organe de maşini şi în norme se prevăd prescripţii referitoare la rapoartele între dimensiunile elementelor.

Aplicaţia 7.2. Pentru îmbinarea din figura 7.2, realizată din oţel se cunosc: d = 50 mm, b = 15 mm, σ_a = 140 MPa, $\tau\sim_a$ = 110 MPa pentru pană, $\sigma^{`}_a$= 70 MPa pentru tijă şi manşon şi p_a= 280 MPa. Se cere să se determine celelalte dimensiuni în condiţia de egală rezistenţă a tuturor elementelor îmbinării.

Rezolvare:

a) Sarcina capabilă din relaţia (7.4):

$$P = A \cdot \sigma_a = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} \cdot 0{,}14 = 274{,}9 \text{ kN; se adpotă } P = 275 \text{ kN.}$$

b) Lăţimea penei din (7.7):

$$h = \frac{P}{2 \cdot b \cdot \tau_a^{'}} = \frac{275}{2 \cdot 15 \cdot 0{,}11} = 83{,}33 \text{ mm}, \quad \text{se adpotă } h = 85 \text{ mm:}$$

c) Diametrul capătului barei din (7.10):

$$d_1 = \frac{P}{b \cdot p_a} = \frac{275}{15 \cdot 0{,}28} = 65{,}48 \text{ mm, se adpotă } d_1 = 65 \text{ mm:}$$

d) Diametrul manşonului din (7.11)

$$D = d_1 + \frac{P}{b \cdot p_a} = 65 + \frac{275}{15 \cdot 0{,}28} = 130{,}48 \text{ mm, se adpotă } D = 130 \text{ mm.}$$

Verificare:

Deoarece s-a ales o dimensiune inferioară celei calculate se verifică dimensiunea adoptată astfel încât să nu depăşească cu mai mult de 5% presiunea admisibilă:

$$p_{max} = \frac{P}{b \cdot (D - d)} = \frac{275 \cdot 10^3}{15 \cdot (130 - 65)} = 282{,}1 \text{ MPa} . < 1{,}05 \cdot p_a = 294 \text{ MPa.}$$

e) Lungimea capătului barei din (7.8):

$$h_1 = \frac{P}{2d_1 \cdot \tau_a^{''}} = \frac{275}{2 \cdot 65 \cdot 0{,}07} = 30{,}22 \text{ mm, se adpotă } h_1 = 30 \text{ mm.}$$

Observație: Şi în acest caz dacă se verifică se constată că nu se depăşeşte τ_a cu mai mult de 5% (τ_{max}= 70,51 MPa).

f) Lungimea capătului de manşon din (7.9):

$$h_2 = \frac{P}{2 \cdot (D - d_1) \cdot \tau''_a} = \frac{275}{2 \cdot (130 - 65) \cdot 0{,}07} = 30{,}22 \text{ mm}$$, se adpotă h_2=30 mm.

Aceeaşi observație de la e) este valabilă şi în acest caz ($\tau''_{max} = 70{,}51$ MPa).

g) Verificarea tensiunilor normale din capătul de bară cu relația (7.5):

$$\sigma''_{ef} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2 - 4 \cdot d_1 \cdot b} = \frac{4 \cdot 275 \cdot 10^3}{65^2 \cdot \pi - 4 \cdot 65 \cdot 15} = 117{,}4 \text{ MPa} < \sigma_a .$$

h) Verificarea tensiunilor normale din manşon cu (7.6):

$$\boldsymbol{\sigma'''_{ef} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot (D^2 - d_1^2) - 4 \cdot (D - d_1) \cdot b} = \frac{4 \cdot 275 \cdot 10^3}{\pi \cdot (130^2 - 65^2) - 4 \cdot (130 - 65) \cdot 15} = 30{,}62 \text{ MPa} < \sigma_a}$$

7.4. Îmbinările cu nituri

Îmbinările cu nituri sunt îmbinări nedemontabile. Elementele geometrice ale diferitelor forme de nituri şi îmbinări cu nituri pot fi luate din standardele: 796-68, 797-67, 801-67, 802-67, 3165-67, 187-73, etc. Prin acestea se normează: diametru găurii de nit şi al nitului, pasul nitului, distanța de marginea ER până la axa nitului etc. La cursul de organe de maşini aceste elemente vor fi analizate detaliat.

Îmbinările cu nituri diferă după forma constructivă. În manualele de organe de maşini se găsesc clasificări ale îmbinărilor nituite după:

- numărul secțiunilor de forfecare ale nitului (una sau mai multe):
- felul aşezării tablelor (prin suprapunere sau cu eclise):
- numărul rândurilor de nituri (unul sau mai multe):
- rolul funcțional (îmbinare de rezistență sau etanşeitate).

În figura 7.3. s-a desenat o îmbinare a două platbande, prin suprapunere cu un nit ce are o singură secțiune de forfecare, iar în figura 7.4 o îmbinare cu două eclise, cu două secțiuni de forfecare şi trei rânduri decalate de nituri.

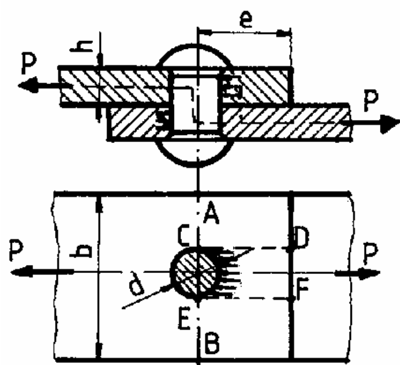


Fig. 7.3

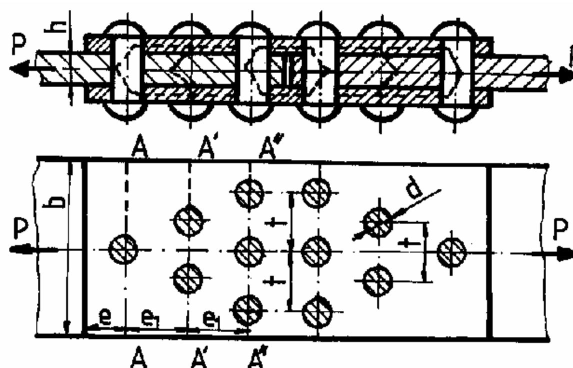


Fig. 7.4

Gaura pentru nit se execută cu diametrul mai mare decât cel al nitului. Nitul, de obicei încălzit la cca. 800°C se introduce în gaură. Apoi, prin ciocănire îşi modifică diametrul până ce umple gaura şi apoi se formează capul de închidere. Prin contractarea, la răcire, cele două plăci sunt strânse una de alta rezultând şi o forță de frecare suficient de mare pentru a prelua întreaga sarcină. Dar în calculele de rezistență nu se ține seama de forțele de frecare: întrucât atât valoarea coeficientului de frecare cât şi valoarea forței de strângere a nitului nu pot fi riguros determinate.

În calculul de rezistență a îmbinării cu nituri, în cazul în care acestea sunt dispuse simetric, sarcina P se consideră că **se distribuie în mod egal la toate niturile**. În baza acestei ipoteze sunt patru moduri de cedare a îmbinării (fig. 7.3):

a) rupere la tracțiune a platbandei în secțiunea AB:

$$\sigma = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{h} \cdot (\mathbf{b} - \mathbf{d})} \le \sigma_{\mathbf{a}}, \qquad \textbf{(7.12)}$$

b) forfecarea nitului în secțiunea dintre platbande:

$$\tau' = \frac{\mathbf{4P}}{\pi \cdot \mathbf{d}^2} \le \tau_{\mathbf{a}}, \qquad \textbf{(7.13)}$$

c) forfecarea platbandei în secțiunile CD şi EF:

$$\tau'' = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{2 \cdot h \cdot e}} \le \tau_a\,, \qquad \mathbf{(7.14)}$$

d) strivirea găurii sau a tijei nitului

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{P}}{\mathbf{d \cdot h}} \le \mathbf{p_a}\,. \qquad \mathbf{(7.15)}$$

Din condiția de realizare eficientă a îmbinării cu nituri (la aceeaşi sarcină valorile tensiunilor maxime trebuie să fie egale cu rezistența admisibilă) sunt prescrise, prin norme, valorile diametrelor găurilor de nit funcție de grosimile tablelor:

Tabelul 7.1

h_{min} =...5	6...9	7...11	10...14	13...19	20...	[mm]
d = 10,5	14	20	23	26	29	[mm]

De asemenea, se prevede: e = (1,5...2) ·d, e_1= (2...2,5) ·d, t = (2,5...3) ·d.

Prezența găurilor pentru nituri produce slăbirea secțiunii tablei. Raportul dintre secțiunea micşorată prin găuri şi secțiunea inițială (întreagă), pe pas, se numeşte **coeficient de utilizare**. Pentru nituirea cu un singur rând, sau pentru primul rând de nituri în cazul nituirii mai multor rânduri de nituri, se obține:

$$\varphi = \frac{\mathbf{h \cdot (b - d)}}{\mathbf{b \cdot h}} = \frac{\mathbf{b - d}}{\mathbf{b}}\,. \qquad \mathbf{(7.16)}$$

În cazul respectării valorilor prescrise pentru d, e, e_1 şi t date mai sus, coeficientul de utilizare este: φ=0,67...0,97.

Întrucât nituirea implică operații tehnologice care necesită o cantitate mare de muncă şi un coeficient de utilizare redus a materialului, nituirea se utilizează foarte rar, în special pentru acele locuri unde nu se poate folosi sudura.

Observație: Calculul de rezistență pentru îmbinările demontabile cu şuruburi (buloane) se execută în mod similar ca şi cel pentru îmbinarea cu nituri.

Aplicația 7.3. Să se dimensioneze îmbinarea cu două eclise dintre două platbenzi de oțel, de secțiune 200 ×12 mm^2 şi să se calculeze coeficientul de utilizare.

Rezolvare:

Din anexa 1.a, pentru OL 37, se găseşte:

σ_a= 150 MPa, τ_a=120 MPa, p_a= 250 MPa.

Se aleg dimensiunile ecliselor 200 × 8 mm^2, diametrul găurii de nit d = 20 mm, precum şi e = 30 mm, e_1= t = 40 mm.

Adopt distribuția niturilor din figura 7.4. În acest caz sarcina capabilă este

$P = \sigma_a \cdot A_{net} = \sigma_a \cdot h \cdot (b - d) = 0,15 \cdot 12 \cdot (200-20) = 324$ kN.

Adopt: P = 325 kN

Verificarea la întindere în secțiunile AA, A~A~ şi A`A`:

$$\sigma'_{ef} = \frac{P}{A_{net}} = \frac{325 \cdot 10^3}{12 \cdot (200 - 20)} = 150{,}5 \text{ MPa} < 1{,}05 \cdot \sigma_a ,$$

$$\sigma''_{ef} = \frac{5}{6} \cdot \frac{P}{A'_{net}} = \frac{5 \cdot 325 \cdot 10^3}{6 \cdot 12 \cdot (200 - 2 \cdot 20)} = 141 \text{ MPa} < \sigma_a ,$$

$$\sigma'''_{ef} = \frac{3}{6} \cdot \frac{P}{A''_{net}} = \frac{3 \cdot 325 \cdot 10^3}{6 \cdot 12 \cdot (200 - 3 \times 20)} = 96{,}73 \text{ MPa} < \sigma_a .$$

Verificarea niturilor la forfecare (două secțiuni):

$$\tau_{ef} = \frac{\frac{P}{6}}{2A_{nit}} = \frac{4 \cdot 325 \cdot 10^3}{2 \cdot 6 \cdot 20^2} = 86{,}2 \text{ MPa} < \tau_a .$$

Verificarea la presiunea de contact

$$p_{ef} = \frac{\frac{P}{6}}{d \cdot h} = \frac{325 \cdot 10^3}{6 \cdot 20 \cdot 12} = 225{,}7 \text{ MPa} < p_a .$$

Deci, **îmbinarea rezistă**.

Coeficientul de utilizare a secțiunii se calculează pentru secțiunea periculoasă (AA):

$$\varphi = 100 \cdot \frac{b - d}{b} = 100 \cdot \frac{200 - 20}{200} = 90 \ \% .$$

7.5. Îmbinări prin sudură

Realizarea îmbinărilor prin sudură prezintă, față de cele nituite sau de îmbinările cu şuruburi, avantaje economice constând în reducerea consumului de material şi manoperă. Dar, îmbinările sudate realizate în condiții tehnice necorespunzătoare şi necontrolate riguros pot fi inferioare îmbinărilor nituite.

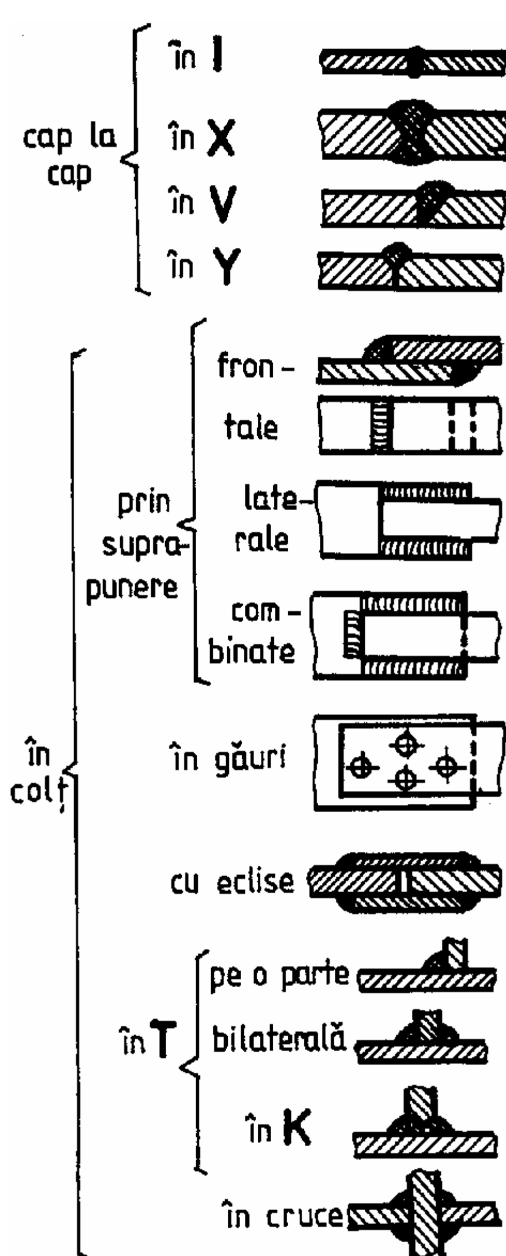


Fig. 7.5

În figura 7.5 se prezintă o clasificare din punct de vedere constructiv a principalelor îmbinări sudate. Dintre acestea, îmbinările cap la cap sunt solicitate, în general, la întindere iar cele de colț la forfecare.

Principalele elemente geometrice ale îmbinărilor sudate sunt: **lungimea sudurii L_S şi grosimea sudurii a** .

Lungimea sudurii de calcul se ia mai mică decât lungimea reală cu dublul grosimii sudurii:

$$L_S = L - 2a. \qquad (7.17)$$

Grosimea sudurii (de calcul) se consideră,

- la sudurile cap la cap, egală cu grosimea tablei:

$$a = h \qquad (7.18)$$

iar la sudura în colț, egală cu înălțimea triunghiului isoscel din secțiune şi se aproximează astfel:

$$a = 0{,}7 \cdot h_{min}, \qquad (7.19)$$

în care h_{min} este grosimea tablei celei mai subțiri ce se îmbină.

Rezistențele admisibile ale sudurilor sunt date în tabelele din anexa 1.a. În general se ia:

$$\sigma_{as} = (0,8...1) \cdot \sigma_a, \ \tau_{as} = (0,5...0,65) \cdot \tau_a. \qquad (7.20)$$

Valorile mai mici se iau pentru îmbinările sudate utilizate în construcția de mașini, iar cele mai mari în construcții metalice, respectiv la care se aplică un control 100% cu raze X sau γ.

Calculul de rezistență, la întindere și forfecare, se face utilizând formulele:

- sudură cap la cap:

$$\sigma_s = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{L_s \cdot a} \leq \sigma_{as} \qquad (7.21)$$

- sudură de colț:

$$\tau_s = \frac{P}{A_s} = \frac{P}{L_s \cdot a} \leq \tau_{as} \qquad (7.22)$$

Aplicația 7.4. Să se dimensioneze îmbinarea prin sudură a cornierului de oțel L 50×50×5 (A = 4,8 cm^2, e = 1,4 cm) cu un guseu (fig. 7.6).

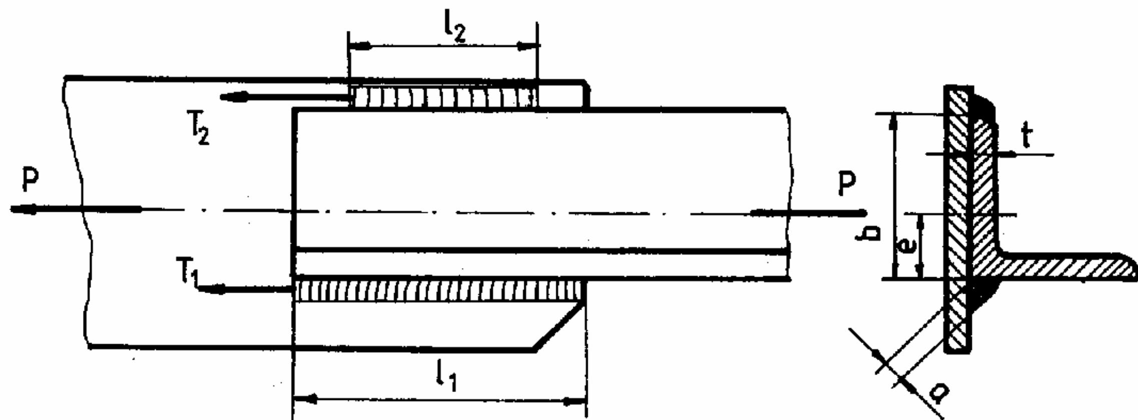


Fig. 7.6

Rezolvare: Se aleg dimensiunile guseului 6×80 mm^2, astfel ca să aibă aria egală cu aria cornierului.

Sarcina capabilă este:

$P = A \cdot \sigma_a = 4,8 \cdot 15 = 72$ kN.

Forțele T_1 şi T_2 preluate de cele două cordoane de sudură rezultă:

T_1= P · (1-3) / b = 72 · (50-14) / 50 =5 1,8 kN

T_2= P · e / b = 72 · 14 / 15 = 20,2 kN

Grosimea sudurii va fi:

a = 0,7 · h_{min}= 0,7 · 5 = 3,5 mm.

Pentru τ_a = 100 MPa (v. anexa 1.a) lungimile celor două cordoane de sudură rezultă:

$$L_1 = 2a + \frac{T_1}{a \cdot \tau_a} = 2 \cdot 3{,}5 + \frac{51800}{3{,}5 \cdot 100} = 155 \text{ mm}$$

$$L_2 = 2a + \frac{T_2}{a \cdot \tau_a} = 2 \cdot 3{,}5 + \frac{20200}{3{,}5 \cdot 100} = 64{,}7 \text{ mm}$$

Deci sudura va avea parametri:

a = 3,5 mm, L_1= 155 mm, L_2= 65 mm.